

相模湾沿岸を対象とした 津波避難行動シミュレーションシステムの提案と実装

吉田周生^{*1} 松場匠^{*1} 大野つばさ^{*1} 太田翔馬^{*1} 小林夏美^{*1} 鵜巢凌哉^{*1}
海津ゆりえ^{*1} 川合康央^{*1}

Proposal and Implementation of Tsunami Evacuation Behavior Simulation System for Sagami Bay Coast

Shusei Yoshida^{*1}, Takumi Matsuba^{*1}, Tsubasa Ohno^{*1}, Shoma Ohta^{*1}, Natsumi Kobayashi^{*1},
Ryoya Tokinosu^{*1}, Yurie Kaizu^{*1} and Yasuo Kawai^{*1}

Abstract - In this study, tsunami evacuation behavior simulation at the time of the occurrence of the tsunami was developed using open data and a game engine. When examining the disaster prevention plan for the tsunami in each local government, it is necessary to form consensus by collaboration between local governments and residents, such as evacuation sites and routes. This research is to develop a tsunami evacuation behavior simulation system as a tool assumed to be used by local governments and residents at the time of disaster prevention plan preparation for the tsunami. In this system, a three-dimensional model of topographical data, building data, and road data is incorporated into the game engine, and by acting a massive agents autonomously searching for evacuation routes and tsunami evacuation buildings it clarifies the problem. In the previous studies, there was a problem in the calculation speed of the evacuation destination search of the evacuation agents, but in this paper we improved the evacuation destination search algorithm of the evacuation agents and enabled a simulation with a larger agent. In addition, we have created a large geographic model for Fujisawa city facing Sagami Bay and implemented it on the system. As a result of the simulation, it became clear that there are paths where disaster victims are concentrated even in the inland area.

Keywords: Tsunami, Evacuation, Agents, Game Engine and Simulation

1. はじめに

本研究は、津波発生時における在住者、来街者の避難行動をシミュレーションするシステムの提案と実装である。各地方自治体において、津波に対する防災計画の検討を行う際には、避難場所や避難経路など、自治体と地域住民の協働による合意形成が必要である。本研究は、津波に対する防災計画策定時に、地方自治体と地域住民によって用いられることを想定したツールとして、津波避難行動シミュレーションシステムの開発を行うものである。

津波などの自然災害に対して、各地方自治体はハザードマップを作成し、市民に公開している。これらのハザードマップの元となるデータは、地方自治体独自のものではなく、国や県による津波予測をもとに作成されたものである。国による津波ハザードマップとして、「国土交通省ハザードマップポータルサイト」^[1]が挙げられる。こ

のサイトは、重ねるハザードマップと、わがまちハザードマップで構成されている。重ねるハザードマップでは、洪水、土砂災害、津波について、各関係機関が作成した防災情報をまとめて表示することができるものである（図1）。津波浸水想定のほか、洪水浸水想定区域、土砂災害危険箇所等の各種ハザード情報を重ねて表示することが可能である。また、道路冠水想定箇所、事前通行規制区、緊急輸送道路を加えて表示することができる。さらに航空写真（1945年～現在）や明治期の低湿地大規模盛土造成地等の土地の履歴を閲覧することができる。自然災害に対するリスク情報を、広範囲で面として表示させることが可能であり、調べたい特定の場所を設定すると、その土地ごとのリスクをまとめて表示させることが

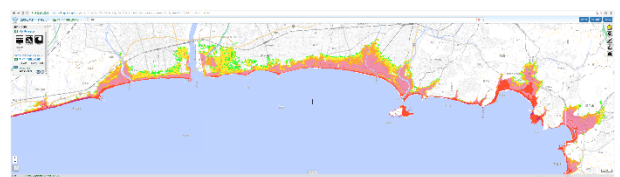


図1 重ねるハザードマップによる相模湾沿岸の津波浸水想定

Fig.1 Tsunami Inundation Assumption on Sagami Bay Coast by Superposition Hazard Map.

^{*1}: 文教大学情報学部情報システム学科

^{*2}: 文教大学国際学部国際観光学科

^{*1}: Department of Information Systems, Faculty of Information and Communications, Bunkyo University

^{*2}: Department of International Tourism and Hospitality Management, Faculty of International Studies, Bunkyo University

できる。また、わがまちハザードマップでは、各自治体
が作成した様々な自然災害に対するハザードマップに対
してのリンクが集められたデータベースとなっている。

これらハザードマップの全国的な整備を目指し、国は
ハザードマップ作成の技術と活用に関する基本的な考え
方をまとめたマニュアルを作成している^{[2][3]}。ここでは、
地方自治体などの行政側に対して、防災行動計画および
防災拠点整備計画の検討、避難・救援計画の検討、避難
判断情報の提供等、ハザードマップを活用した防災計画
の策定が求められている。

これを受けて、神奈川県では県内各市町が市民に提供
する津波ハザードマップを作成する際の基礎資料とする
ことを目的として、「津波浸水予測図」^[4]と「津波ハザ
ードマップ作成の手引き」^[5]を公表している。この津波浸水
予測図におけるシミュレーションは、津波・高潮ハザ
ードマップマニュアルにおける時系列を考慮した数値シミ
ュレーションに基づいて、津波による浸水予測が行われ
ている。計算条件は、解析領域が相模灘から房総半島沖、
メッシュ構成は大領域 324m から詳細検討領域 12m、初
期条件を断層パラメータに基づいた海底地盤の鉛直変位
量を算定して初期水位分布と設定し、非線形 2 次元モデ
ルによる有限差分法で解析を行っている。この計算結果
として、津波予測図には浸水深、津波の到達時間、津波
の進行方向が情報として記載されており、各市町村でハ
ザードマップを作成するための基礎データとして提供さ
れている。その後、内閣府によって発生頻度が 2000~3000
年あるいはそれ以上とされている相模トラフ沿いの最大
クラスの地震などに関する新しい科学的知見が示され、
県ではこれを受けて、想定外をなくすという考え方に基
づいて津波浸水予測を見直すこととなった。神奈川県沿
岸地域における津波高さまたは浸水域が最大となる 5 つ
の地震と、再検討された 4 地震を対象として、新たに「津
波浸水予測図」^[6]が作成された。この津波浸水予測図はこ
れら 9 地震について、県内 24 の地域に分割されて公開さ
れている。さらに、これら津波浸水予測図をもとに、浸
水域と浸水深が最大となるよう重ね合わせた「津波浸水
想定図」^[7]を作成し、公表した。これら県が作成した津
波予測は、各地方自治体が津波ハザードマップを作成す
る際の検討資料として用いることを、想定して作成され
ている。一方で、ハザードマップ作成においては、各自
治体が主導となって作成されるため、市町村レベルで参
照した津波予測データが異なる、津波高さの凡例表記が
違うなどの課題もある（図 2, 3）。

地方自治体によるハザードマップ作製の基準となる国
や県の津波予測シミュレーションは、時系列を考慮した
精緻なシミュレーションであり、建物や地形の影響を考
慮した浸水深さや流速、浸水開始時間等の浸水想定情報
を得ることができる。これらのシミュレーションは精緻
に検討されたものではあるが、地方自治体はそのシミ

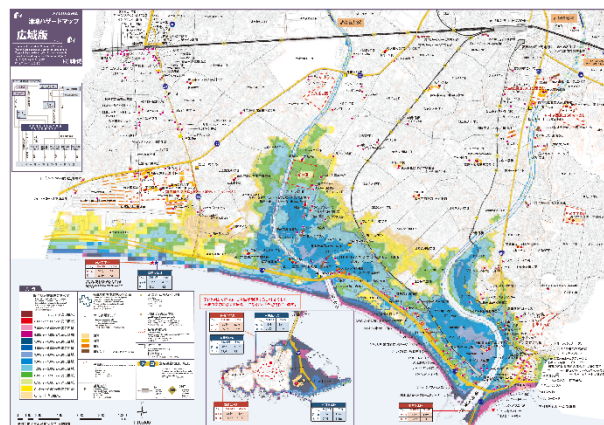


図 2 津波ハザードマップ（藤沢市）^[8]

Fig.2 Tsunami Hazard Map (Fujisawa City).

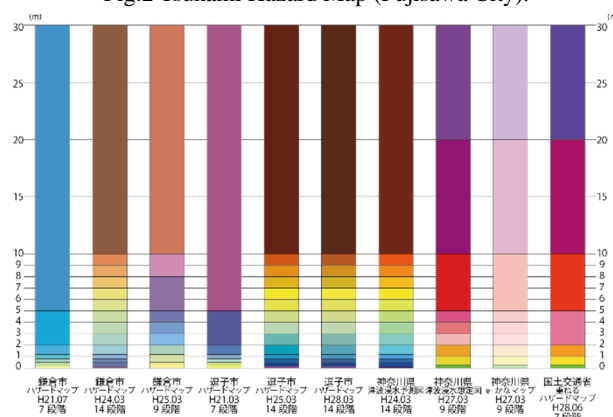


図 3 津波高さ凡例表記の比較

（鎌倉市、逗子市、神奈川県、国土交通省）

Fig.3 Comparison of Tsunami Height Legend Notation

(Kamakura City, Zushi City, Kanagawa Prefecture and the Ministry of Land, Infrastructure and Transport).

レーション結果を提示され、これに基づいたハザードマ
ップの作成を行うこととなり、各自治体が避難計画を策
定する際に、避難経路や避難場所、避難者行動などの各
種条件の変更を行い、繰り返し試行して細部の検討を行
うには不十分である。また、地方自治体レベルでのハザ
ードマップ作製や防災計画策定が求められているにも関
わらず、これらの津波予測シミュレーションを自治体レ
ベルで独自に開発し運用することは困難であった。そこ
で、地方自治体による津波災害などに対する防災計画策
定時に用いられることを想定したツールとして、ゲーム
エンジンを用いた津波避難行動の可視化を行うシミュレ
ーションシステムの開発を行うこととする。

これまでの研究において避難エージェントの避難先探
索の計算速度に課題が残されていたが、本稿では避難エ
ージェントの避難目的地探索アルゴリズムの改良を行い、
一般的な情報環境下において、より大規模なエージェン
トによるシミュレーションを可能とした。また、相模湾
沿岸を対象とした大規模地理モデルの作成を行い、シス
テムへの実装を行った。

2. 対象地区

本研究では、シミュレーションの対象地域として相模湾沿岸を選定した。本地域は、相模トラフに面しており、これまでに、大正関東地震（1923 年，M7.9）、元禄関東地震（1703 年，M7.9~8.2）、明応鎌倉の地震（1495 年，M 不明）、永享相模の地震（1433 年，M7.0 以上）、永仁関東地震（1293 年，M7.0）、正嘉鎌倉の地震（1257 年，M7.0~7.5）など、大地震と津波による大きな被害を受けてきた地域である^[9]。これらの地震は、地震振動による家屋倒壊、山崩れ、崖崩れとともに、震源地に近い地域では地震発生後 5 分で沿岸部に津波が最大 12m の高さで発生したとされている。そこで、本研究では相模湾沿岸地域である、藤沢市に対してのシミュレーションシステムについて報告する。藤沢市は観光客が多く訪れる場所でもあり、年間を通じた観光客数は 1 日当たり約 51,000 人程度と見込まれている^[10]。そこで、本システムでは、避難先を知っている在住者と、避難先を知らない来街者の 2 種類のエージェントを用意することとした。

3. システムの開発

3.1 津波表現

これまでの津波シミュレーションでは、津波の浸水予測に対して格子法や粒子法などの流体シミュレーションを用いたシミュレーションが行われてきた^[11-13]。これらのシミュレーションは、地形、建物などによる津波浸水の流速、流量の影響を詳細に検討することが可能であるが、大規模な計算を行うため、高速な演算が可能な計算機が必要であり、検討のために条件を変更して何度もリアルタイムで試行を行うことは難しい。本システムは、国土地理院のオープンデータである標高データ、建物データ、道路データを組み合わせ、これに僅かな傾きを持った水面を差し込むことによって津波を再現するものである。傾斜平面を地形モデルに挿入することで、簡易的に津波を表現することで、種々の条件を変更したシミュレーションをリアルタイムで行うことが可能となる。

この津波を再現したモデルに、自律的に避難するエージェントを数千人規模で準備し、津波避難経路についての検討を行う。各エージェントは、津波発生後に自らの座標から最も近い高台、広域避難所、津波避難ビルを検索し、そこに向かって定められた速度で移動するものである。マルチエージェントによる津波避難に関する研究は、避難行動の開始、避難経路選択、災害による道路状況などのシミュレーションモデルに関する研究が行われている^[14-16]。これらは、流体シミュレーションを用いた大規模で正確なものであるが、専用のシステムを必要とし、地方自治体が独自に運用することは難しい。また出力されるシミュレーション結果についても、事前に計算が必要なものであり、種々の条件変更をリアルタイムで検証することは困難である。

本研究では、津波ハザードマップなどの防災計画策定主体である地方自治体が自律的に運用可能な、津波と避難行動をリアルタイムで可視化した津波避難行動シミュレーションシステムを開発し、シミュレーションによる防災計画の評価を行うものである。国や公的機関のオープンデータを活用し、ゲームエンジンやフリー・オープンソースソフトウェアを活用することによって、簡易な地域ごとの津波避難行動シミュレーションシステムが低コストで導入可能となる。また、本システムを用いることによって、これまで詳細な検討が十分行うことが困難であった街路レベルでの災害予測の検証が可能となる。

本シミュレーションシステムは、津波発生時のエージェントの行動から、津波避難ビルや広域避難所、高台への経路上において、避難者の被災が想定される個所を確認するものである。津波避難ビルなどの避難先は、藤沢市作成の津波避難マップをもとに作成した^[17]。

津波高さ、津波到達時間については、神奈川県作成の津波浸水予測とこれに基づく市のハザードマップ^{[18],[19]}によると、本地区における最大津波高さは 11.5m、最短到達時間 6 分、最大浸水面積 4.7 km²となっている。

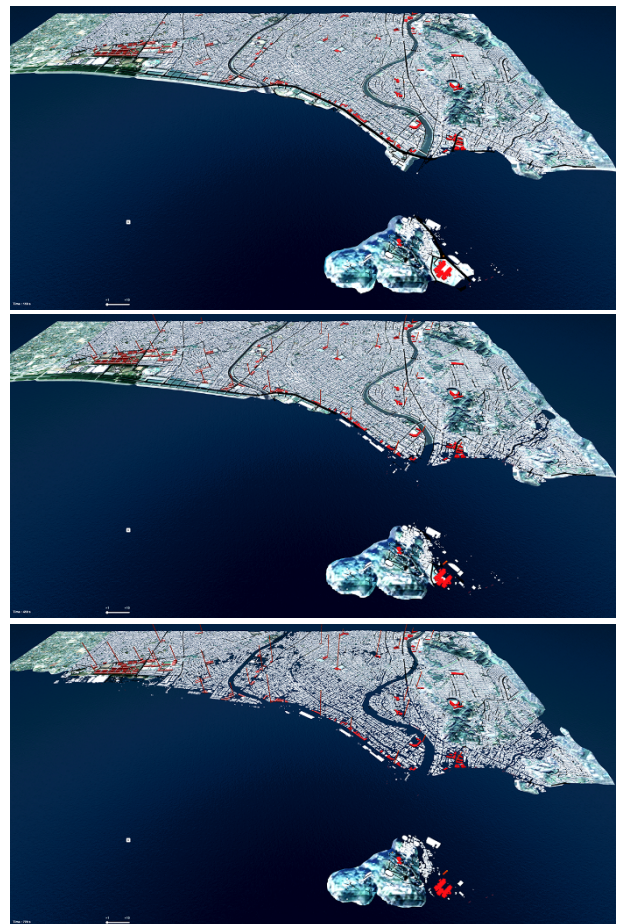


図4 提案したシステムによる津波表現
(津波到達後 110 秒, 410 秒, 710 秒)

Fig.4 Tsunami Expression by the Proposed System
(After Reaching the Tsunami
110 seconds, 410 seconds, 710 seconds).

津波表現としては、まずゲームエンジン UNITY 上で、別途作成した 3D 地理モデルに対して、高さ 0m の位置に、海面を表すオブジェクトとして、巨大な平面オブジェクトを用意した。次に、津波を表すオブジェクトとして、平面オブジェクトを 0.10 度回転させたものを用意した。本システムでは、このごく緩やかに傾斜した平面オブジェクトを海面オブジェクトに挿入し、40km/h.の速度で平行移動させることによって、簡易的な津波モデルを作成した。この津波オブジェクトのアニメーションによって、標高値の低い個所から段階的に浸水する状況を再現することが可能であった。今回のシステムにおいて実装した傾斜平面挿入による手法は、簡易な手法であるため計算量が少なく、リアルタイムでの処理に適しているとともに、県発表の津波予測と大きな差異は見られなかったため、本手法を採用することとした。本システムでは、海面に対する津波の高さを 0~30m の範囲で可変的にシミュレーションができるものとした。一方で、津波の方向や速度については今後の課題として挙げられる。また、津波到着までの時間についても設定可能なものとした。シミュレーションによる再現速度は、1~10 倍までのタイムスケールでの再生が可能なものとして実装を行った（図 4）。

3.2 地理モデル

本システムでは、地理情報として国土地理院の基盤地図情報ダウンロードシステム^[20]を利用した。基盤地図情報は、国土地理院による基本測量の成果であり、海岸線、道路線、建物の外周線、数値標高モデルなどの位置を表す地理情報のデータベースである。本 Web サイトから、汎用性の高い地理情報の GIS データを、XML 形式でダウンロード可能である。

まず、基盤地図情報の基本項目と数値標高モデルの表示ソフトウェアである基盤地図情報ビューア (FGDV)^[21]によって、ダウンロードした XML データを読み込み、道路線、建築物の外周線をシェーブファイル形式に変換してエクスポートを行った。変換した SHP データは、QGIS のプロジェクト内にベクタレイヤの追加として読み込んだ。QGIS 上では、TileLayerPlugin^[22]を用いて、基盤地図情報から標高情報を画像データとして取り込み、これを Qgis2threejs^[23]を用いて、3 次元で地形モデルの再現を行った。建物モデルについても Qgis2threejs を用い、3 次元モデル化を行った。さらに、TileLayerPlugin を用いて、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス^[24]より、空中写真カラーからテクスチャデータを作成し、これを 3 次元モデルとは別にテクスチャ情報として用意した。QGIS 上で準備した 3 次元モデルは、地形データ、道路データ、建物データを STL 形式で書き出し、3 次元 CG オーサリングソフトウェアである Blender 上に取り込んだ。

Blender 上では、地形、建物モデルのポリゴン面を整理し、ポリゴン数の抑制を行った。さらに、道路線データ

を加工し、道路の外周線から道路面を作成した。建物モデルについては、実際の写真をもとにして、建物高さを個別に調整した。また、QGIS 上で作成したテクスチャを地形モデルに適用することとした。Blender で作成した 3 次元形状モデルを、地形、道路、建物の 3 要素ごとに、別ファイルとして FBX 形式で書き出し、ゲームエンジン UNITY 上に取り込んだ（図 5）。

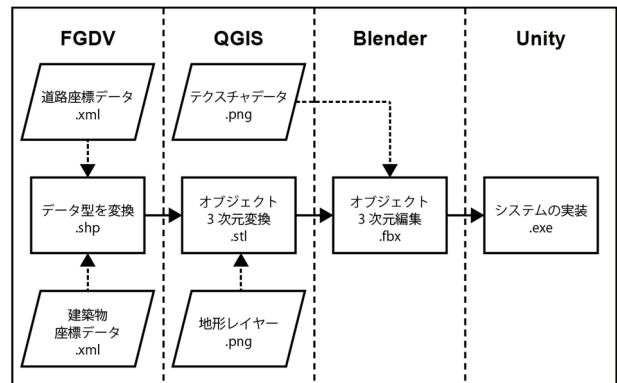


図 5 地理情報データの変換フロー

Fig.5 Conversion Flow of Geographic Information Data.

3.3 避難者エージェント

本システムでは、避難者行動のシミュレーションとして、自律的に避難行動を行うエージェントを用意することとした。道路モデルは、地形、建物とは別途 GIS データから作成し、3 次元オブジェクトとして再構成したものを地形モデル上に配置した。この道路モデルの路面上を市域全体で結合したものを、避難行動エージェントの行動範囲として指定した。エージェントは、シミュレーション開始後、地域全体の路面上にランダムに配置される。エージェントの数は 0~数千人の範囲で可変的なものとし、初期設定の画面でエージェントの人数と、エージェントの種類の割合を自由に数値入力可能なものとした。10,000 体のエージェントを用いたシミュレーションで動作を確認したが、エージェントが個別に探索行動を行うため、処理の遅延は見られなかった（図 6）。

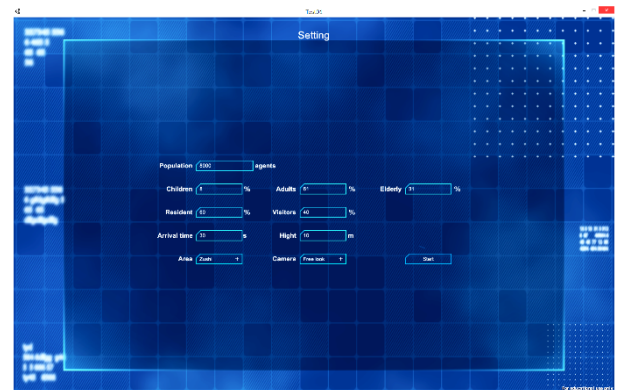


図 6 初期設定画面

Fig.6 Initial Setting Screen.

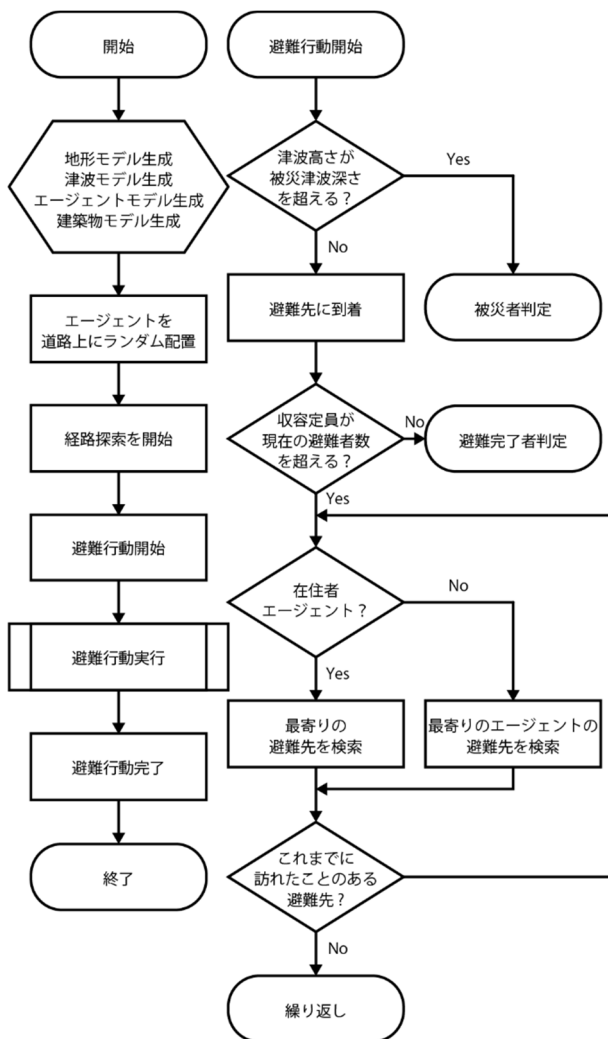


図 7 避難行動のフローチャート
Fig.7 Evacuation Behavior Flowchart.

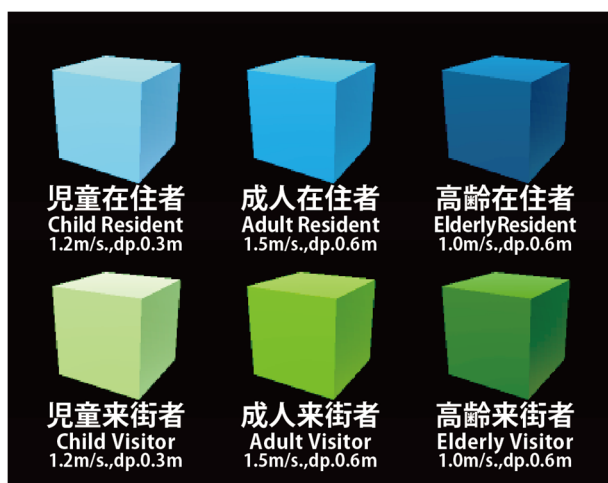


図 8 避難行動パターンと年齢属性による
エージェントの種類
Fig.8 Types of Agents based on
Evacuation Behavior Patterns and Age Attributes.

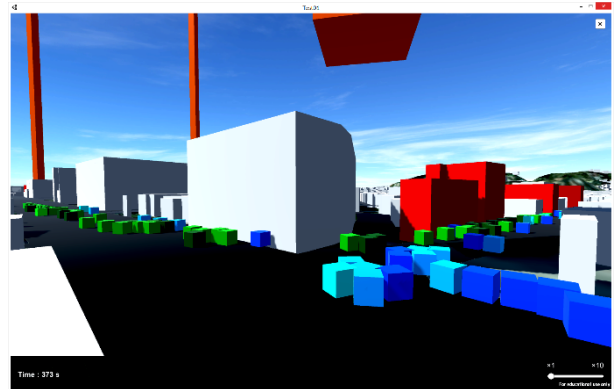


図 9 避難行動を実行しているエージェント群
Fig.9 Agents Performing Evacuation Behavior.

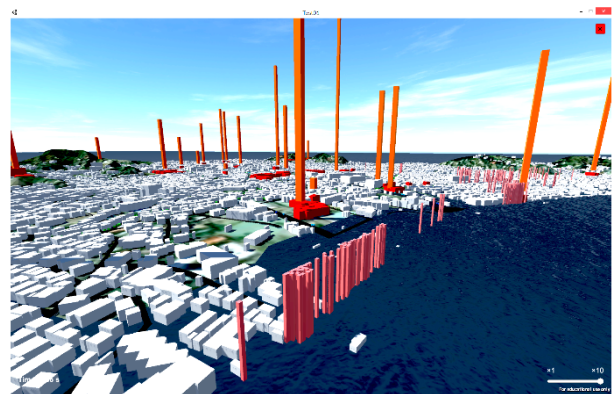


図 10 津波避難ビル (赤) と
津波避難ビル収容者数 (オレンジ), 被災者 (ピンク)
Fig.10 Tsunami Evacuation Building (Red),
Tsunami Evacuation Building Number of Evacuees (Orange),
Victims (Pink).

エージェントの性質として、大きく二種類の避難行動パターンと、三種類の年齢属性を設けることとした。避難行動パターンについては、在住者と来街者の二種類を用意し、在住者は避難先を知っているエージェント、来街者は避難先を知らないエージェントとする。

シミュレーション開始後にエージェントは、対象地区の道路上にランダムで配置される。在住者エージェントは、自らの位置から最も近い津波避難ビル、津波広域避難所、高台を検索し、そこに向けて定められた移動速度で移動を開始する。高台避難については、入力した津波高さ以上の標高まで非難したエージェントについては、避難完了フラグを立てることによって再現を行った。津波避難ビルには収容定員が設けられており、全エージェント数と実際の人口に応じた割合を算出し、定員を設けている。エージェントが津波避難ビルに到達した際、収容定員に達していた場合、その時点から再度検索を行い、次に近い避難先に移動する。一方、来街者エージェントは避難先を知らないが、自らの位置に最も近くにいるエージェントに追従して避難行動を行う。追随先エージェ

ントが、避難した後に津波避難ビルの収容定員が埋まった場合や、避難行動中に被災した場合は、追従先のフラグを消し、その時点で最も近くにいるエージェントを再度検索し追従する。追従先のエージェントは、在住者エージェント、来街者エージェントの双方とした（図 7）。

また、年齢属性については、移動速度と被災する津波高さの異なる、成人エージェント、児童エージェント、高齢者エージェントの三種類を用意した。成人エージェントは、移動速度 0.8m/s、被災津波深さ 0.6m、児童エージェントは、移動速度 0.8m/s、被災津波深さ 0.3m、高齢者エージェントは移動速度 0.6m/s、被災津波深さ 0.6mとした。計 6 種類の各エージェントは、その性質に応じて色分けを行った（図 8, 9）。

シミュレーション上で、津波避難ビルは赤色で表示されており、このビルに向かってエージェント群は移動する。津波避難ビルの収容者は、ビルの上部にオレンジ色のバーで表示され、どの津波避難ビルに避難者が集中しているのかを表す。また、被災したエージェントは、その場でピンク色のバーとなり、被災した位置に留まる。ピンク色のバーが集中している位置が、被災者が多く発生する位置であると考えられる（図 10）。

シミュレーション終了後、結果画面が表示される（図 11）。ここでは、在住者、来街者と年齢属性別の被災者の数が表示されるとともに、その結果を CSV 形式のファイルとして、システム内に出力を行うものとなっている。エージェントはランダムに道路路上に配置されるため、シミュレーションの初期条件によって結果は異なる。そのため、条件を設定した後、繰り返し何度か試行してデータを分析することが可能なよう、システムの実装を行った。

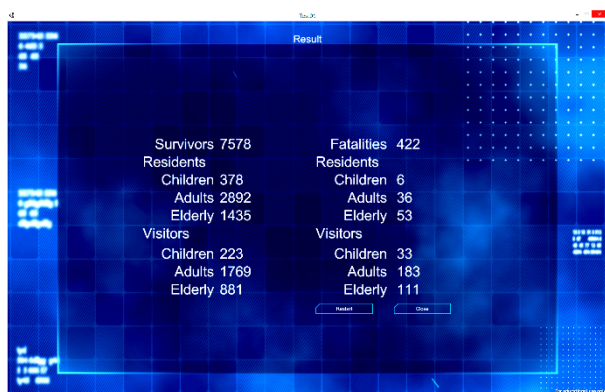


図 11 シミュレーション結果画面

Fig.11 Simulation Result Screen.

4. 評価

シミュレーションの結果、内陸部においても被災者が集中してみられる経路が存在することが明らかとなった。これらは、内陸部に河川が入り込んだ低地に多くみられ、

津波が河川を遡上し、海岸方向からの津波と挟まれる個所が見られた。また、避難者は津波発生後に何らかの避難行動を行うため、低地が続く地形の市街地においては、内陸部に避難したが、津波被害に遭遇する事態も少なくない。海岸沿いの津波避難ビルとともに、低地の内陸部における市街地においても、適切な避難場所の策定が必要であると考えられる。さらに避難経路によっては目の前に津波が迫る海側へ避難しなければならない箇所もあり、避難サインや誘導方向などの改善を必要とする場所があることも明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、ゲームエンジンを用いた津波避難行動シミュレーションシステムを開発し、実在する市街地として、鎌倉市藤沢市を対象としたシミュレーションによる評価を行った。津波の再現については、仮想海面を模した傾斜平面挿入による簡易な表現を用いることによって、処理を軽量化し、リアルタイムでの検討を可能とした。一方、避難者については、自律的に避難先を検索し、定められた速度で移動するエージェントを作成した。このエージェントは、歩行速度や被災条件の異なる 3 種類と、避難行動の異なる 2 種類のものを用意し、その数や比率を自由に可変できるものとした。また、津波発生時には、在住者や来街者がどのような状態であるかは不確定であるため、本システムでは避難者を対象地区の道路面上にランダム配置することとした。結果、藤沢市では、沿岸部だけでなく、避難途中の内陸部でも大きな被害が発生することが明らかとなった。また、低標高が続く道や川に挟まれた場所など、高さの比較的低い津波であっても大規模な被害が出るポイントがあることを確認した。

提案したシステムは、オープンデータを用い、開発環境としてゲームエンジンやフリー・オープンソースソフトウェアを活用することによって、低コストで開発が可能であるため、地方自治体などで、地域住民とともに防災計画を検討する際に有効なツールとなると考えられる。今回提案したシステムは、津波表現について簡易なものを用いたが、別途いくつかの条件を設定した動的な津波モデルと置き換えることで、より正確なシミュレーションが可能になると考えられる。また、実際に防災計画を検討するにあたり、津波避難ビルなどの避難先や災害時に通行を可能とする私有地が追加できる等、都市条件をインタラクティブに変更が可能なツールへと発展していく必要がある。

今回のシステムでは、津波に対する避難行動をシミュレートするものとして開発を行ったが、津波発生前の地震が近い場所で発生した場合、建物や都市設置物等の火災、崩壊などによる道路の寸断が起こる可能性がある。また、津波避難ビルについても、すべて稼働することが前提となっているが、現地にて大規模な地震が発生した

場合には、これらのビルそのものが避難場所として使用できないケースが考えられる。今後は、地理情報データを用いた本システムを改良し、大規模火災、地震、洪水等、複合的な災害を組み合わせた総合的な防災シミュレーションモデルを作成し、実際の防災計画に資するシステムの開発を行っていく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K02080 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 国土交通省国土地理院応用地理部地理情報処理課: 国土交通省ハザードマップポータルサイト; 国土交通省(2018), <http://disaportal.gsi.go.jp/> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [2] 内閣府 (防災担当), 農林水産省農村振興局, 農林水産省水産庁, 国土交通省河川局, 国土交通省港湾局: 津波・高潮ハザードマップマニュアルの概要; 国土交通省(2004), <http://www.mlit.go.jp/common/000054428.pdf> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [3] 津波・高潮ハザードマップ研究会事務局: 津波・高潮ハザードマップマニュアル(案); 国土交通省(2003), http://www.mlit.go.jp/kowan/hazard_map/5/shiryou2.pdf (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [4] 神奈川県県土整備局河川下水道部砂防海岸課: 「津波浸水予測図」について (平成 24 年 3 月); 神奈川県(2016), <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [5] 神奈川県: 県土整備局河川下水道部流域海岸企画課: 津波ハザードマップ作成の手引き (平成 23 年度版); 神奈川県(2012), <http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/440371.pdf> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [6] 神奈川県県土整備局河川下水道部砂防海岸課: 津波浸水予測図; 神奈川県(2016), <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f532320/p892442.html> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [7] 神奈川県県土整備局河川下水道部砂防海岸課: 津波浸水想定図; 神奈川県(2016), <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f532320/p892444.html> (参照 2018 年 07 月 10 日)
- [8] 藤沢市防災安全部防災政策課: 津波ハザードマップ (平成 25 年度作成) 広域版・情報版 (2017), <https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/bosai/bosai/hazardmap/tsunami/h25hazardmap.html> (参照 2018

年 07 月 10 日)

- [9] 文部科学省研究開発局地震・防災研究課: 相模トラフ, 相模トラフ沿いの地震の過去の発生状況と被害; 地震調査研究推進本部事務局, https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/k_sagami/ (参照 2018 年 07 月 15 日)
- [10] 公益財団法人藤沢市観光協会: 藤沢市観光客数統計表; 藤沢市観光シティプロモーション課, 公益社団法人藤沢市観光協会, <http://www.fujisawa-kanko.jp/stat/kankou.pdf> (参照 2018 年 07 月 16 日)
- [11] 田邊, 浅井, 中尾, 伊津野: 3 次元粒子法による橋桁に作用する津波外力評価とその精度検証; 構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 293-302 (2014).
- [12] 越村, 村上: 格子ボルツマン法による津波解析コード構築に向けた実地形適用に関する研究; 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 65, No.1 pp. 256-260 (2009).
- [13] 後藤, 酒井, 林, 織田, 五十里: 遡上津波の戻り流れによる護岸法先洗掘のグリッドレス解析; 海岸工学論文集, Vol. 49, pp. 46-50 (2002).
- [14] 渡辺, 近藤: 津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発; 日本建築学会計画系論文集, vol.74, no.637, pp.627-634 (2009).
- [15] 源, 成行, 藤原, 三神: 津波避難シミュレーションシステムの開発と地区の避難安全性評価への適用; 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), vol.65, no.1, pp.627-634 (2009).
- [16] 大佛, 守澤: 都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震時における広域避難行動シミュレーションモデル; 日本建築学会計画系論文集, vol.76, no.660, pp. 389-396 (2011).
- [17] 藤沢市防災安全部危機管理課: 津波避難マップ (平成 27 年 3 月作成), 藤沢市(2015), <https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/kikikanri/20160301tsunamihinannmap.html> (参照 2018 年 07 月 16 日)
- [18] 藤沢市防災安全部防災政策課: 津波浸水想定図 (平成 27 年 3 月作成), 藤沢市(2015), <https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/bosai/bosai/hazardmap/tsunami/documents/h2703tsunamisinsuisouteikeityoutuki.pdf> (参照 2018 年 07 月 16 日)
- [19] 藤沢市防災安全部防災政策課: 藤沢市における想定津波の概要, 藤沢市(2015), <https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/bosai/bosai/hazardmap/tsunami/documents/souteitsunamigaiyou.pdf> (参照 2018 年 07 月 16 日)
- [20] 国土交通省国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス; 国土交通省(2017), <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (参照 2018

年 07 月 16 日).

- [21] 国土交通省国土地理院: 基盤地図情報ビューア; 国土交通省(2017),
<https://fgd.gsi.go.jp/download/documents.html>, (参 照 2018 年 07 月 16 日).
- [22] Akagi, M.; QGIS Python Plugins Repository, QGIS Python Plugins Repository(2016),
<https://plugins.qgis.org/plugins/TileLayerPlugin/>, (参 照 2018 年 07 月 16 日).
- [23] Akagi, M.; QGIS Python Plugins Repository, QGIS Python Plugins Repository(2016),
<https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/>, (参 照 2018 年 07 月 16 日).
- [24] 国土交通省国土地理院: 地図・空中写真閲覧サービス; 国土交通省(2010),
<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, (参 照 2018 年 07 月 16 日).